[局放检测]

变频压缩机组绝缘在线监测的噪声分析及处理

文/刘　伟[1]　何　宁[2]　王维斌[3]　卓　麟[4]　张利源[5]
1. 国家管网西气东输公司；2. 国家管网西气东输公司银川输气分公司；3. 国家管网西气东输公司甘陕输气分公司；
4. 国家管网西气东输公司川气东送分公司；5. 吉林大学仪器科学与电气工程学院

首先对变频压缩机组绝缘监测的重要性进行了探讨，进而对几种电气绝缘在线监测方法进行了分析和比较，指出了IDS局部放电监测技术是实现变频压缩机组绝缘在线监测的最佳方案。同时对变频压缩机组的系统噪声进行了深入研究和处理，通过在运压缩机组的现场监测图谱，验证了IDS局部放电检测技术的灵敏性与先进性。

国家管网是关乎国家能源命脉的核心企业，天然气管网运行的稳定性取决于天然气压缩机组的安全性和可靠性，变频压缩机组的绝缘是影响压缩机长周期安稳运行的重要因素，对变频压缩机组的绝缘进行在线监测是当前管道企业面临的重大的课题。近几十年来，随着局部放电检测、无线电检测、时域反射、X射线、红外线、声波、压力波及各种高频特性技术的发展，大型电动机组的绝缘故障诊断和定位技术取得了巨大进步，特别是行波单端法、双端法、不接触式高频脉冲法以及小波频谱分析技术的出现，为变频压缩机组绝缘在线监测提供了可靠的理论支撑和实际应用基础。

变频压缩机组绝缘监测的重要性

管网企业中，变频压缩机组设备的绝缘破坏会造成设备短路，这是产生变频压缩机组故障停机的主要原因。为了提高变频压缩机组运行的可靠性，对压缩机组进行在线绝缘监测势在必行。

（1）安全性

管网企业属于易燃易爆场所，压缩机组绝缘的破坏会产生电气短路、高温弧光，严重的会引起爆炸，对防爆要求极高的管网企业需要对压缩机组绝缘进行在线监测，防止火灾爆炸事故的发生。

（2）稳定性

压缩机组绝缘的破坏是造成压缩机组故障停机的主要原因。压缩机组的运行波动会造成管网系统生产装置停运的后果。为了保障压缩机组长周期稳定运行，对其进行在线绝缘监测。

（3）经济性

由于变频压缩机组中电气设备绝缘的破坏，可能会造成重大的停车事故，从而给管网企业造成巨大的经济损失。因此，企业应该加大对电气设备绝缘在线监控设施的投入，减少企业装置停运的经济损失。

（4）可靠性

管网企业设备的检维修是一项至关重要的工作，目前大量企业已开展4年一修，未来应向可靠性检修方向发展。为了提高设备的运行可靠性，应将设备的定期计划检修方式改为状态检修、可靠性检修方式，压缩机组绝缘的在线状态监测是开展状态检修、可靠性检修的基础。

变频压缩机组绝缘在线监测技术对比

变频压缩机组中的电驱部分是由隔离变压器、变频器、电动机及连接电缆组成，因为隔离变压器为了降低谐波采用多绕组方式，有的达到12绕组，所以每台变频压缩机组都含有多条电缆供电，有的

将近100根电缆。变频电动机组中任何电气设备绝缘损坏都会造成变频机组故障停机。变频机组的绝缘监测必须能够实现隔离变压器、变频器、电动机和电缆的全方位监测，才能够完成机组的绝缘状态监测，缺一不可。

变频压缩机组绝缘在线检测方法的基本原则是：绝缘的劣化和损坏的进程可以通过统计学方法观察，但是速度可能不同，而且大多数情况下都会有一段时间的发展期。在这段时间里，绝缘的电气、物理和化学特性发生一定的变化，但是由于微电子技术、计算机技术、光电、信息加工和传感器技术的进展，可以实时监测电力设备的绝缘状态，及时获取到有价值的信息，即使是微弱的信息也是如此。通过对电气设备绝缘的在线监测，可以实时监测和分析数值的变化趋势，及时发现潜在的故障，必要时提供预警或发展趋势预测。这种方法的优势在于，可以避免周期性的预防性试验，更好地保障设备的可靠性。绝缘老化击穿过程如图1所示，三种绝缘监测技术对比见表1。

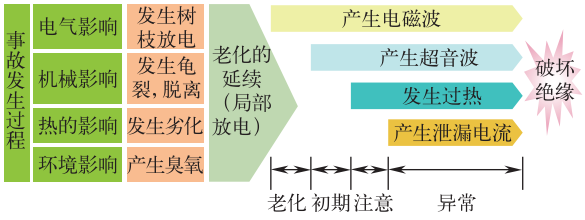

图1　绝缘老化击穿过程

表1　三种绝缘监测技术对比

对比内容	IDS变频电动机局部放电检测技术	电容耦合局放检测技术	直流注入法检测技术
检测方式	在线检测	在线检测	无法实现在线检测
电力系统结构改变	不改变	不改变	需要改变
与电网电气连接	无电气连接	有电气连接	有电气连接
对变频器的影响	无	有	有
在变频电动机组中抗干扰能力	强	弱	不能在线检测
检测信噪比	高（大于30：1）	较低	
检测设备电压等级	检测高、中、低压电气设备	检测高、中压电气设备	只能检测中压电气设备
绝缘趋势预测	有	无	无
变频设备	能够检测	不能检测	不能检测
安装方式	简便、无需停电	需停电	需停电大修时安装

通过表1中的技术对比，绝缘监测系统（Insulation Detection System，IDS）变频电动机局部放电监测技术是管网企业变频压缩机组绝缘监测的最佳选择，可以满足变频压缩机组绝缘在线监测的需求，而其他监测手段无法满足这一要求。

变频压缩机组局部放电图谱分析

研究变频压缩机组的绝缘监测，首先要研究变频机组中局部放电的形态及谱图，并能够用函数进行表达，实现图谱的数字化和程序化，利用小波形式实现局部放电波形的识别。

绝缘击穿过程局放时域、频域图谱如图2所示。由图2可以看出在变频压缩机组绝缘击穿过程中会发出核心频率49 MHz的高频局部放电波形。

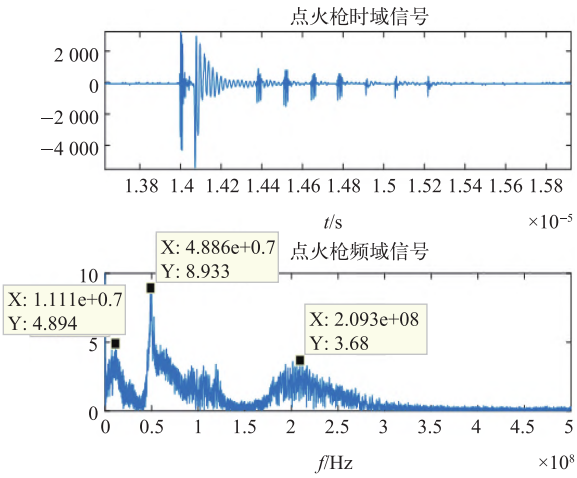

图2　绝缘击穿过程局部放电时域、频域图谱

为了实现局部放电波形的识别，将局部放电的典型图谱进行数学拟合，获得软件合成的局部放电图谱，如图3所示。

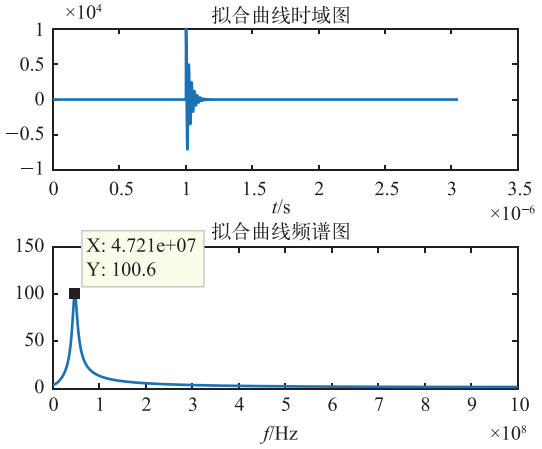

图3　数学拟合的局放时域、频域图谱

通过图3可看出，拟合后图谱核心频率47.2 MHz与现场采集的局部放电图谱基本一致，实现了局部放电典型图谱的数字化和程序化，给局部放电波形的识别打下了基础。

变频压缩机组噪声分析

在变频压缩机组的运行过程中，受到周围电磁环境的影响，存在着大量的环境噪声，同时变频器的整流、逆变工作过程中产生了大量的高次谐波，这些高次谐波在压缩机组电缆和电动机间进行往复振荡，不仅对压缩机组设备绝缘造成不利影响，同时严重干扰局部放电信号的采集和分析，为了更好地实现局部放电信号的识别，应对变频机组中的高次谐波进行分析和处理。

通过对图4的变频器输入噪声图谱和图5的变频器输出噪声图谱分析，可清晰看出变频器输入及输出均含有大量的高次谐波。

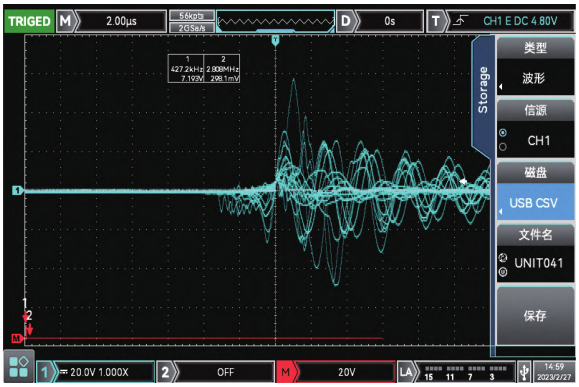

图4　变频器输入噪声图谱

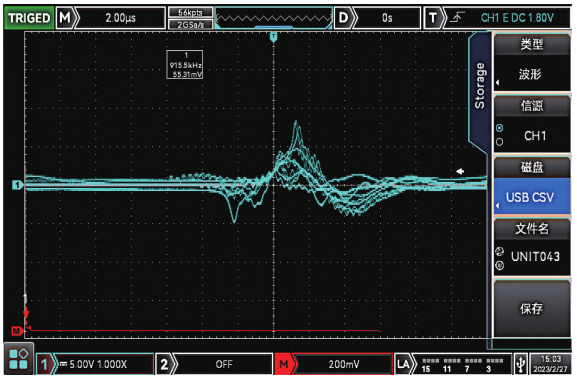

图5　变频器输出噪声图谱

变频压缩机组内大量的高次谐波是由变频器中电力电子元件整流逆变工作过程产生的，其高次谐波中含有大量的正弦基波的高阶奇次谐波。

变频压缩机组噪声处理

变频压缩机组内的高阶奇次谐波通过正弦波的奇次幂耦合可消除谐波的干扰，通过软件耦合处理可完美解决高次谐波。

变频器输入通过正弦波耦合完成噪声处理图谱如图6所示，与图4比较，噪声幅值由100 V（峰峰值）降低到100 mV（峰峰值），100 mV（峰峰值）的噪声值对局部放电图谱的采集及分析基本没有影响。

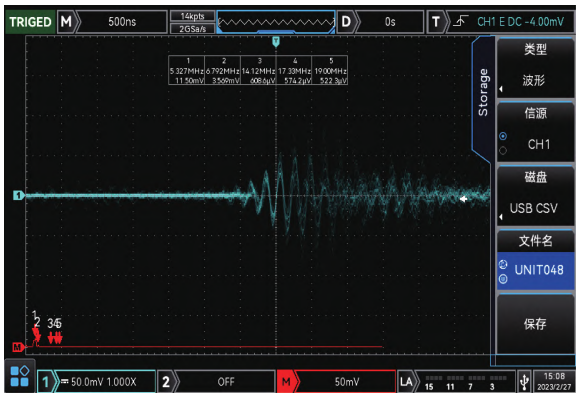

图6　变频器输入噪声处理图谱

图7为变频器输出通过正弦波耦合完成噪声处理的频谱图，与图5进行比较，噪声幅值由15 V（峰峰值）降低到25 mV（峰峰值）。

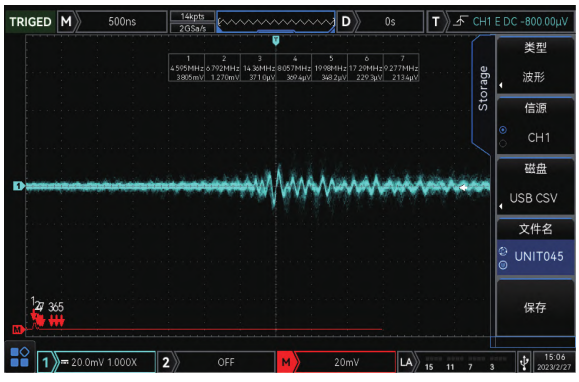

图7　变频器输出噪声处理图谱

西气东输某压气站变频压缩机组IDS对变频电动机局部放电监测图谱进行比较分析。

图8为变频电动机噪声未进行处理的三位图谱，可清晰看出在图谱中含有7 799 mV的噪声信号。

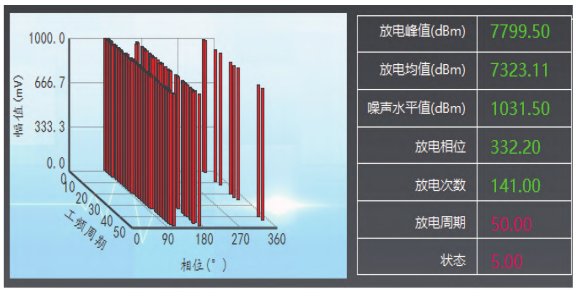

图8　变频电动机图谱（噪声未处理）

图9为对变频电动机噪声进行正弦波耦合后的三维图，可以看出噪声信号已消除。

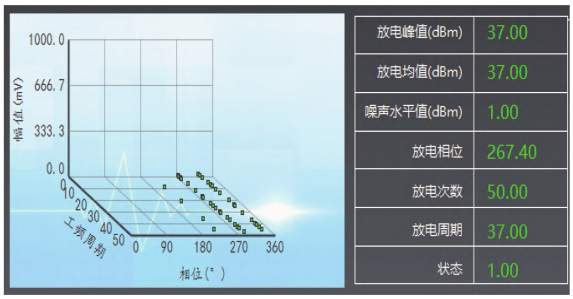

图9　变频电动机图谱（噪声已处理）

图10为在运行回路进行正弦波耦合处理后，在一次回路加设了局部放电信号，局部放电信号未受正弦波耦合的影响，产生了3 785 mV的放电脉冲波形，与图9对比，产生约100∶1的信噪比。利用正弦波耦合技术，完美消除了变频机组中的高次谐波噪声，并对局部放电信号的采集和分析无影响，提高了放电信号和噪声信号的信噪比，保证了变频压缩机组绝缘监测的灵敏度。

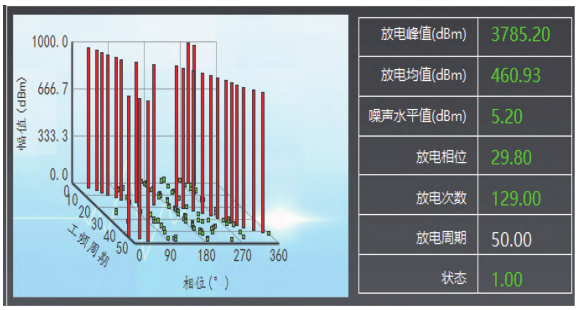

图10　变频电动机局部放电图谱

结束语

通过对变频压缩机组中噪声的分析和研究，揭示出变频压缩机组中高次谐波的组成和频谱分析，在此基础上提出正弦奇次波耦合降噪的技术方案，并成功应用在现场设备中，通过对变频机组的降噪处理，消除了监测系统中的高次谐波噪声，提高了放电信号和噪声信号的信噪比，保证了变频压缩机组绝缘监测的灵敏度。

局部放电监测技术具有小型化、智能化和离散化的技术特征，同时局部放电监测技术不改变电气结构，安装简便，在电力系统及国家大型电力项目上有大量的成功应用经验，同时有完善的国家标准的支撑，这些技术优势都将推广局部放电监测技术在变频压缩机组中的应用。**EA**

（收稿日期：2023-04-17）

参考文献

[1] 成永红．电力设备绝缘检测与诊断[M]．北京：中国电力出版社，2001．

[2] 刘思佳．基于在线电流数据驱动方法的地下电缆故障予诊断的研究[D]．北京：北京交通大学，2016．

[3] 唐玉龙，孙丽华．局部放电检测法在高压变频机组绝缘检测中的应用[J]．电气传动，2021，51(19)：77-80．

[4] 刘建辉，曾铁军，王新林．一种变频变压的双频注入绝缘监测方法[J]．电气技术，2022，23(4)：18-24．

[5] 唐波，邱浩宇，吴慧娟．高压电缆接头局部放电声光联合检测系统设计与实现[J]．电气应用，2021，40(5)：10-20．

[5] 高晨，赵勇，汪德良，等．海上风电机组电气设备状态检修技术研究现状与展望[J]．电工技术学报，2022，37(ZK1)：30-42．

[6] 孙聪，鞠鹏飞，李大华，等．基于自适应集合经验模态分解算法的局部放电信号降噪研究[J]．电气技术，2022，23(2)：67-72．

[7] 徐黄宽，张黎，Bilal Iqbal Ayubi，等．基于改进变分模态分解去噪的高频电应力下聚酰亚胺局部放电温-频特性研究[J]．电工技术学报，2023，38(3)：565-576．

[8] 陈泓岩，李浩然，杨宇豪，等．电力设备局部放电声学检测分类研究[J]．电气应用，2022，41(12)：38-43．